

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПУСКОВОГО ОРГАНА БАВР НА ПЛИС

В статье рассматривается процесс реализации на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) устройств системной автоматики на примере пускового органа (ПО) быстродействующей автоматики включения резервного питания (БАВР) для подстанций с синхронными мощными электродвигателями (СД) напряжением 6-10 кВ [1]. При потере питающего напряжения СД выбегают, их остаточное напряжение  $U_1$  сначала отстает по фазе от напряжения  $U_2$  резервирующей секции, а после перехода через  $180^\circ$  опережает его; этот процесс периодически повторяется до снижения  $U_1$ , либо восстановления питания СД. При потере питания СД второй секции порядок чередования фаз напряжений секций подстанции противоположен описанному.

ПЛИС занимают промежуточное место между схемами на электромеханических реле и микропроцессорными устройствами. Синтез устройства выполняется в системе автоматизированного проектирования MAX + plus II с использованием ПЛИС семейства MAX 7000 фирмы «Алтера» [2]. Последовательность разработки проекта: описание устройства, компиляция, программирование микросхемы (прошивка). Возможны симуляция работы устройства и проверка правильности функционирования логики.

Приведем пример исполнения логической части пускового органа БАВР с реализацией последовательностной логической функции (ПЛФ) [3]. Функция истинна, если истинны обе входные переменные, причем раньше становится истинной переменная под стрелкой. Создаем полную принципиальную схему (рис. 1) устройства [4], расставляя на рабочем поле элементы из библиотеки примитивов редактора, в том числе описанный нами самостоятельно счетчик CNT, и выполняя связи между ними.

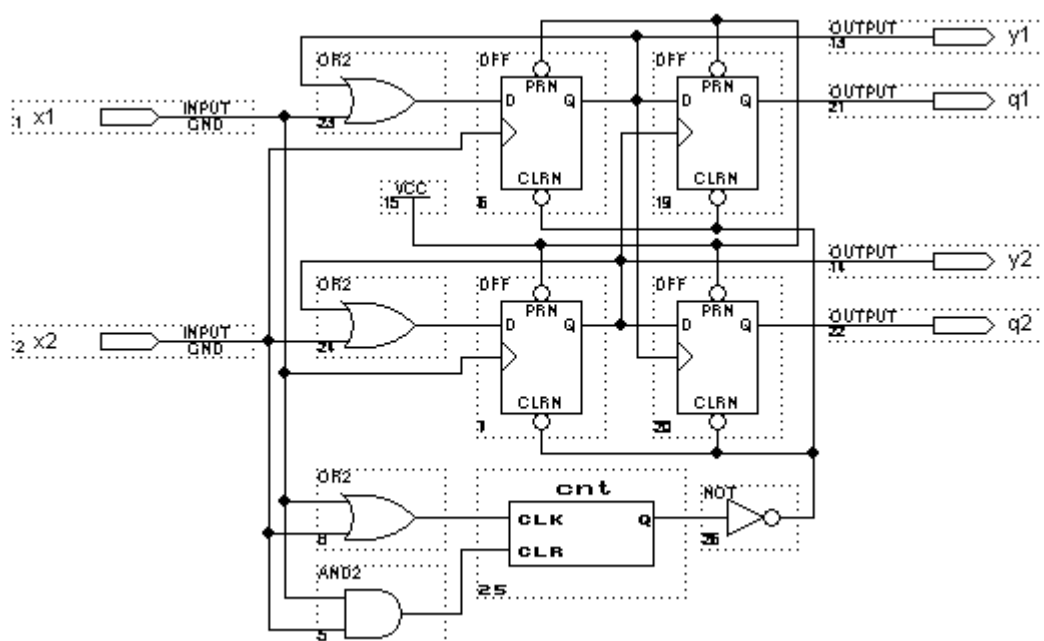


Рис. 1 – Пусковой орган с реализацией ПЛФ

Контроль двойного изменения порядка следования фаз при выбеге потерявшей питание двигательной нагрузки производится D-триггерами (DFF) 6, 7, 19, 20. Счетные входы и входы для данных триггеров 6, 7 включены на входные переменные  $x_1$ ,  $x_2$ , соответствующие напряжениям  $U_1$  и  $U_2$ , перекрестно. Благодаря этому фиксируется опережающее появление переменной на D-входе (формируется 1 на выходе Q триггера), если в момент формирования 1 на счетном входе уже имеется 1 на D-входе. Сохранение состояния триггеров 6, 7 после совпадения единичных значений переменных на входах обеспечивается обратной связью с их выходов на один из входов логических элементов 2ИЛИ (or2) 23, 24.

Возврат устройства в исходное состояние осуществляет счетчик CNT с временем задержки  $t_d$ , равным  $K \cdot 0,01$  с, где коэффициент преобразования  $K = 2^5 = 32$ . Счетчик устанавливается в нуль при комбинации входов 11 посредством элемента 2И (and2) 5, подключенного к входу CLR. Тактовые импульсы на входе CLK вырабатываются элементом 2ИЛИ (or2) 8 по состоянию входов 00, формируемому с периодом 10 мс, т. е. 0,01 с. После отсчета заданной задержки 0,32 с счетчик не меняет своего состояния, а сигнал с его выхода Q через элемент НЕ (not) 26 сбрасывает в исходное состояние все D-триггеры.

Внутренние переменные  $y_1$ ,  $y_2$  позволяют зафиксировать прямой или обратный порядок следования фаз в начальный период выбега двигателей (до  $180^\circ$ ), выходные переменные  $q_1$ ,  $q_2$  соответствуют командам на отключение выключателя ввода первой или второй секции подстанции.

В процессе синтеза схемы в графическом редакторе использованы стандартные элементы из библиотеки примитивов \max2lib\prim и нестандартный счетчик cnt, который создан программным путем на языке Altera HDL в текстовом редакторе в виде файла cnt.tdf.

#### SUBDESIGN cnt

```
(
clk, clr : input;
q : output;
)
variable
    count[5..0] : DFF;
begin
    count[].clk=clk;
    count[].clrn=!clr;
    count[].d=count[].q+1;
    q=count[5];
end;
```

Устройство реализует алгоритм функционирования, записанный ниже с применением функции ПАМЯТЬ П и последовательностного оператора ОПЕРЕЖЕНИЕ (стрелка  $\rightarrow$ )

$$q_1 = (\overrightarrow{y_1 y_2}) \Pi | q = [(\overrightarrow{x_1 x_2}) \Pi | q((\overrightarrow{x_1 x_2}) \Pi | q)] \Pi | q,$$

$$q_2 = (\overrightarrow{y_1 y_2}) \Pi | q = [((\overrightarrow{x_1 x_2}) \Pi | q)(\overrightarrow{x_1 x_2}) \Pi | q] \Pi | q,$$

где

$$q = (x_1 + x_2)(\overline{x_1} + \overline{x_2})D_4^\uparrow = (x_1 \overline{x_2} + \overline{x_1} x_2)D_4^\uparrow.$$

У него отсутствует формирование промежуточных переменных в виде импульсных последовательностей (рис. 2).

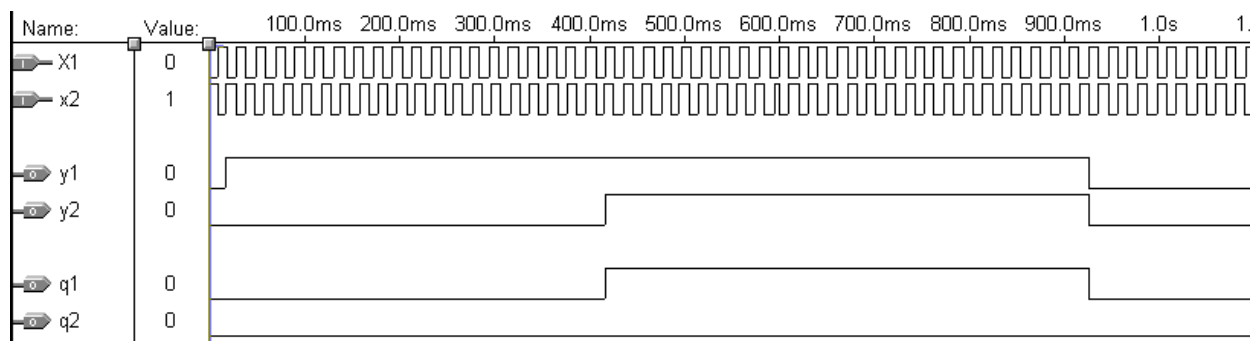


Рис. 2 – Временная диаграмма работы ПО

Симуляция выполнена в реальном времени: через 20 мс от начала выбега формируется  $y_1 = 1$ , к моменту 0,4 с фиксируется противофаза и отключается рабочий ввод командой  $q_1 = 1$ , к моменту 0,6 с включается резервный ввод и фазы напряжений совпадают, через 0,32 с после этого устройство возвращается к исходному состоянию.

Приводимая ниже математическая модель данного устройства на языке высокого уровня [5] полностью соответствует представленной аппаратной реализации.

' 02.02.2016 - LIS10

x1=0:x2=0:t4=32:timeout=0:c=5

gosub init

begin:

do

gosub scan

gosub back

' ----- первая последовательностная схема совпадения -----

if x1 and not x2 then FlagX1=1:FlagX2=0

if x2 and not x1 then FlagX2=1:FlagX1=0

if FlagX1 and x2 then y1=1

if FlagX2 and x1 then y2=1

' ----- вторая последовательностная схема совпадения -----

if y1 and not y2 then FlagY1=1:FlagY2=0

if y2 and not y1 then FlagY2=1:FlagY1=0

if FlagY1 and y2 then q1=1

if FlagY2 and y1 then q2=1

' -----

gosub scope

loop while c

end

' ----- подпрограммы -----

scan:

delay 0.01

read x1,x2

return

init:

y1=0:y2=0:q1=0:q2=0

FlagX1=0:FlagX2=0:FlagY1=0:FlagY2=0

```
scope:
  locate 11,c:print using "#"; x1
  locate ,c:print using "#"; x2
  locate ,c:print using "#"; y1
  locate ,c:print using "#"; y2
  locate ,c:print using "#"; q1
  locate ,c:print using "#"; q2
  if c<79 then incr c else c=0
  return
```

Изменение состояний входных, внутренних и выходных переменных устройства в процессе выбега двигателей первой секции с переключением на вторую секцию, полученное посредством процедуры *score* (рис. 3), подтверждает адекватность компьютерной модели.

[illegible]

## Список использованных источников

1. Бороденко В. А., Поляков В. Е. О выборе принципа действия пусковых органов АВР // Промышленная энергетика, 1981, № 5.
2. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы «Алтера»: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М. : Додека-XXI, 2002.
3. Бороденко, В. А. Последовательностная схема совпадения И. – Предварительный патент № 19005 РК, опубл. 18.12.2007, бюл. № 12.
4. Бороденко, В. А. Устройство для пуска автоматики ввода резервного питания. – Предварительный патент № 19645 РК, опубл. 16.06.2008, бюл. № 6.
5. Антонов А. П. Язык описания цифровых устройств AlteraHDL. Практический курс. – М. : ИП РадиоСофт, 2002.